

Penggunaan ATR - FTIR (*Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) pada Kedokteran Gigi

Dede Arsista

Departemen Ilmu Material Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas YARSI

Yosi Kusuma Eriwati

Departemen Ilmu Material Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi,, Universitas Indonesia

ABSTRAK

Karakterisasi suatu material di bidang kedokteran gigi telah banyak dikembangkan untuk keperluan penelitian. Salah satu alat karakterisasi yang sering digunakan dikedokteran gigi adalah Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) . Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendapatkan pola absorbansi dari suatu senyawa sebuah material. FTIR dapat digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik. Selain itu, FTIR juga dapat digunakan untuk analisa kualitatif meliputi analisa gugus fungsi (adanya 'peak' dari gugus fungsi spesifik) beserta polanya dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu, dengan adanya 'peak' dari gugus fungsi spesifik maka dapat ditentukan komposisi senyawa pembentuk suatu material. Makalah ini bertujuan untuk melihat penggunaan Fourier Transform Infrared Spectroscopy FTIR sebagai alat karakterisasi di bidang kedokteran gigi. Pola gambaran spektrum yang dihasilkan oleh alat ATR-FTIR dapat memberikan informasi komposisi senyawa sehingga menjadi salah satu alat pilihan untuk mengkarakterisasi suatu material.

Kata Kunci : FTIR - ATR , Pola Serapan, *Peak*

Using ATR-FTIR (*Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) In Dentistry

ABSTRACT

Characterization of a material in dentistry has been developed for research purposes. One of the characterization tools that are often used in dentistry is Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) is a technique used to obtain the absorbance pattern of a compound of a material. FTIR can be used to analyze organic and inorganic compounds. In addition, FTIR can also be used

Korespondensi:

Dede Arsista

Email: dedearsista@yahoo.com

for qualitative analysis including functional group analysis (the presence of a 'peak' from a specific functional group) along with its pattern and quantitative analysis by looking at the absorption strength of compounds at certain wavelengths. determine the composition of the compounds that make up a material. This paper aims to examine the use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy FTIR as a characterization tool in dentistry. The spectral image pattern produced by the ATR-FTIR tool can provide information on the composition of the compound so that it becomes one of the tools of choice for characterizing a material.

Keywords: FTIR-ATR, Absorption Pattern, Peak

PENDAHULUAN

Dalam melakukan karakterisasi material kedokteran gigi, spektroskopi merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengetahui komposisi material dengan cara menentukan interaksi antara gelombang IR (*Infra red*) dan specimen material yang diuji. Alat ini dapat mengukur gelombang frekuensi dan jumlah intensitas yang dihasilkan dari suatu specimen material. Metode spektroskopi ini sering digunakan untuk mengkarakterisasi suatu material dan telah banyak dikembangkan pula dalam dunia medis dan bidang kedokteran gigi. Metode tersebut dapat menghasilkan informasi tentang suatu struktur kimia, jumlah elemen suatu material.¹ Selain itu, metode spektroskopi dapat memberikan informasi molekuler yang memungkinkan mendeteksi kelompok gugus fungsional, tipe ikatan, dan molekul yang terkandung pada suatu material, juga sebagai teknik yang sederhana untuk menetapkan kuantitas molekul yang sangat kecil dengan hasil yang tercatat langsung dengan akurat dalam bentuk angka digital ataupun grafik.^{1,2}

Metode spektroskopi dikembangkan oleh seorang ahli matematika berkebangsaan Perancis yaitu Jean Baptiste Fourier.² Fourier menemukan suatu konsep bahwa intensitas gelombang dapat digambarkan sebagai daerah waktu atau daerah frekuensi. Perubahan intensitas gelombang elektromagnetik ke daerah frekuensi

yang dikenal sebagai Perubahan Fourier / Transformasi Fourier (Fourier Transform) yang menghasilkan sejumlah spektrum dalam suatu waktu (spektrometer)^{3,4}. Spektrometer yang dihasilkan oleh suatu gelombang elektromagnetik dapat diubah menjadi suatu gambar pola serapan bilangan gelombang dan dapat diukur tingkat intensitasnya³.

Seiring dengan perkembangan teknologi, konsep Fourier berkembang pesat sebagai metode yang menggunakan prinsip spektroskopi sebagai analisa pilihan dalam berbagai penelitian untuk mengetahui informasi molekul suatu material di bidang kedokteran. Salah satu alat yang menggunakan metode spektroskopi Fourier adalah FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).³ Ishikawa dkk, (2014) menggunakan alat FTIR untuk mendeteksi struktur ion karbonat pada pembuatan material pengganti tulang.⁴ Alat FTIR ini juga digunakan di bidang forensik kedokteran gigi untuk menentukan komposisi gigi atau batas usia.⁵ Sejumlah bahan kedokteran gigi dan pengaruhnya terhadap jaringan gigi juga dapat dideteksi dengan alat FTIR seperti erosi email yang diakibatkan oleh bahan pemutih gigi, derajat kekerasan polimerisasi material restorasi gigi serta dapat juga mendeteksi kerusakan email akibat karies gigi.^{6,7}

Penggunaan Transmisi FTIR (T-FTIR) secara konvensional menggunakan teknik *mull* (KBr-*pellets*) yaitu spesimen ditumbuk

Dede Arsista: Penggunaan Atr-Ftir (attenuated total reflection-fourier transform infrared spectroscopy)

halus dan dicampur dengan KBr kemudian dibuat seperti bulatan kecil (*pellets*), sedangkan keunggulan teknik FTIR yang modern seperti ATR-FTIR (*Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) yaitu tidak menggunakan Teknik KBr (teknik *mull*) tetapi spesimen dapat langsung digunakan atau dideteksi dengan meletakkannya di meja spesimen.¹ ATR-FTIR dapat memberikan informasi dan mengidentifikasi gugus fungsional pada spesimen. Sinar yang terpancar dari alat FTIR ditransmisikan sebagai fungsi panjang gelombang, yang dapat menggambarkan langsung senyawa yang spesifik tentang komposisi senyawa suatu material.^{3,8} Teknik ini lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan T-FTIR. Teknik ATR-FTIR memerlukan sedikit spesimen dan termasuk dalam uji non destruktif (pengujian dengan tidak merusak spesimen). ATR-FTIR dapat digunakan secara luas pada material berbentuk bubuk, cairan, gel, pasta, *pellet*, serat, material lunak, bubur (*slurry*).¹ Pada tinjauan literatur ini akan dibahas bagaimana alat ATR-FTIR dapat memberikan informasi yang sangat dibutuhkan khususnya dalam bidang material kedokteran gigi.

Spektroskopi Infra-Merah (IR-Spectroscopy) konvensional dan ATR-FTIR

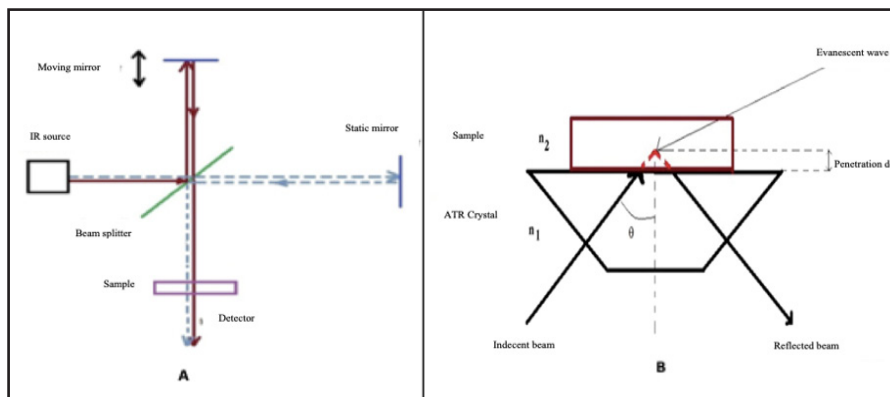
Mekanisme kerja ATR-FTIR

Spektra yang dihasilkan T-FTIR maupun ATR-FTIR secara fungsional sama-sama bertujuan mengetahui kelompok fungsional,

tipe ikatan, dan konformasi molekuler suatu material, namun mekanisme kerjanya berbeda. Pada T-FTIR, sumber sinar yang dipancarkan akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar kemudian dipantulkan oleh cermin dan akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi dan melewati spesimen serta melewati detektor.^{1,3} Sinar yang telah melewati detektor akan menghasilkan panjang gelombang dan spektra infra-merah (IR) yang terlihat pada monitor.^{1,3,8}

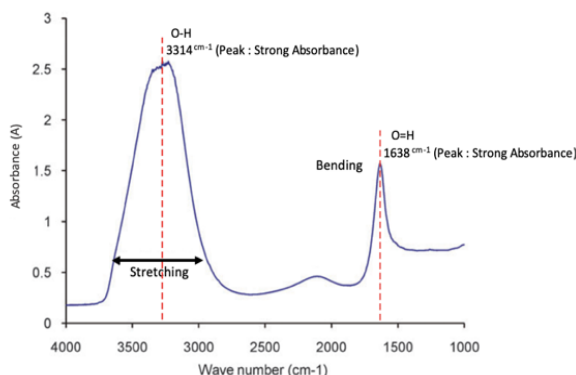
Mekanisme kerja yang terjadi pada alat ATR-FTIR adalah, sumber sinar yang berasal dari bawah akan dipancarkan sesuai dengan sudut sinar kritis ke arah prisma kristal (Zinc selenide (ZnSe)/Ge) melewati spesimen dan kemudian dipantulkan ke detektor. Sinar yang telah melewati detektor akan menghasilkan panjang gelombang dan spektra IR yang dapat tercatat dan terlihat pada monitor.^{1,3} (Gambar 1.)

Hasil gambaran spektra IR dan panjang gelombang pada interferogram terjadi karena adanya interaksi antara spektrum IR dengan getaran yang berasal dari ikatan kimia antar atom-atom yang menyusun suatu material.² Penyerapan spektrum IR pada suatu senyawa akan mengakibatkan getaran pada atom. Jika getaran terjadi pada jarak interatomik maka akan mengakibatkan gambaran spektrum IR meregang (*stretching*) dan jika getaran terjadi pada sudut atom maka akan mengakibatkan gambaran spektrum IR membengkok (*bending*).^{2,9}



Gambar 1. Mekanisme kerja FTIR . (A) T-FTIR (B) ATR-FTIR¹

Bertambahnya atau berkurangnya jarak interatomik maupun perubahan sudut yang terjadi pada ikatan atom akan menghasilkan pancaran spektrum dari suatu material dalam bentuk panjang gelombang/bilangan gelombang di wilayah spektral IR.² Karena semua senyawa menunjukkan penyerapan/emisi karakteristik di wilayah spektral IR, maka senyawa suatu material dapat dianalisa secara kualitatif maupun kuantitatif.^{2,10} Daerah spektrum IR pada gelombang elektromagnetik mencakup bilangan gelombang 14.000 cm⁻¹ hingga 10 cm⁻¹.⁶ Daerah infra-merah sedang (4.000-400 cm⁻¹) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut. Daerah infra-merah jauh (400-10cm⁻¹) bermanfaat untuk menganalisa molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik. Daerah infra-merah dekat (12.500-4.000 cm⁻¹) yang peka terhadap vibrasi *overtone*.^{6,11} Pada Gambar 2. terlihat contoh hasil ATR-FTIR pada air (standar). Terdapat dua pola serapan yang kuat yang ditandai dengan adanya puncak-puncak tertinggi yaitu pada senyawa O-H (ikatan tunggal) dengan bilangan gelombang 3314 cm⁻¹ dan O=H (ikatan ganda) dengan bilangan gelombang 1638 cm⁻¹. Kedua gugus fungsi tersebut berada pada daerah infra-merah sedang.^{12,13}



Gambar 2. Contoh Hasil pola serapan ATR-FTIR¹²

Penggunaan ATR -FTIR pada bidang kedokteran gigi.

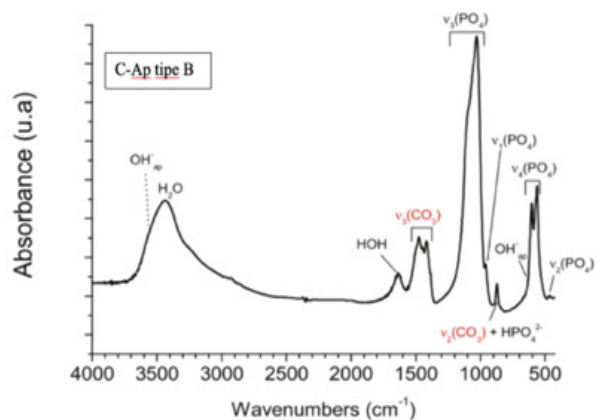
Analisis spektroskopi infra-merah (FTIR) merupakan suatu metode yang

dapat digunakan untuk menganalisa gugus fungsi pada suatu senyawa dengan radiasi elektromagnetik.² Struktur gugus fungsi suatu senyawa dapat memberikan gambaran vibrasi yang spesifik pada spektra infra-merah. Setiap gugus fungsi suatu senyawa akan memiliki bilangan gelombang yang khas dan dapat dideteksi keberadaannya.¹⁴

Deteksi senyawa CO₃²⁻ pada pembuatan karbonat apatit tipe B pada material pengisi tulang.

Karbonat apatit tipe B (C-Ap) merupakan biokeramik yang memiliki sifat biokompatibel dan osteokonduktif yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai material pengganti/pengisi tulang.⁴ Karbonat apatit tipe B merupakan hasil substitusi ion CO₃²⁻ dan ion PO₄²⁻ yang dihasilkan pada suhu rendah (<400°) dengan rumus kimia Ca₁₀(PO₄)₂(CO₃)₄(OH)₂. Secara biologis ion CO₃²⁻ yang terdapat dalam struktur apatit berguna untuk meningkatkan biokompatibilitas dan resorpsi sel-sel tulang yang rusak.¹⁵

Pada Gambar 3 terlihat keberadaan gugus fungsi senyawa CO₃²⁻ dengan pola serapan yang terdapat pada rentang bilangan gelombang ν₂CO₃²⁻ = 800-980 cm⁻¹



Gambar 3. ATR-FTIR Karbonat Apatit Tipe B.¹⁶

Tabel 1. Rentang bilangan gelombang Ion CO₃²⁻ pada karbonat apatit Tipe B¹⁶

Gugus Fungsi	Puncak Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
ν ₂ CO ₃ ²⁻	873
ν ₃ CO ₃ ²⁻	1410

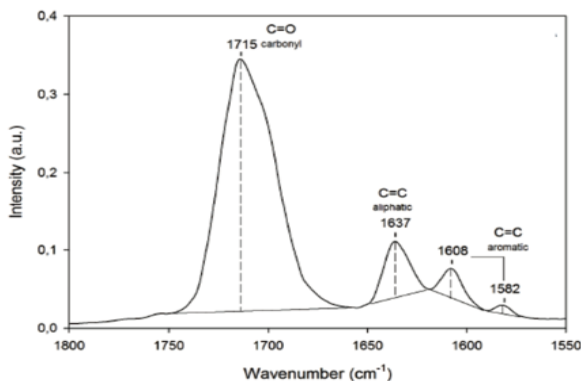
Dede Arsista: Penggunaan Atr-Ftir (attenuated total reflection-fourier transform infrared spectroscopy)

dan $\nu_3 \text{CO}_3^{2-} = 1410\text{-}1465 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada Tabel 1 menunjukkan titik puncak pola serapan pada gugus fungsi $\nu_2 \text{CO}_3^{2-}$ adalah pada bilangan gelombang 873 cm^{-1} sedangkan puncak pola serapan pada gugus fungsi $\nu_3 \text{CO}_3^{2-}$ terdapat pada bilangan gelombang 1410 cm^{-1} .¹⁶ Hal ini menunjukkan bahwa karbonat apatit tipe B mempunyai komposisi senyaw rantai karbonat yang merupakan ciri khas dari senyawa tersebut.

Mengevaluasi derajat konversi (*degree of conversion/DC*) dari resin komposit

Derajat konversi merupakan banyaknya / nilai persentasi dari rantai ganda karbon (C=C) untuk menjadi rantai tunggal karbon (C-C) pada proses polimerisasi untuk membentuk rantai panjang resin polimer. Derajat konversi dikaitkan dengan tercapainya resin komposit untuk berpolimerisasi melalui banyaknya monomer yang terkonversi menjadi rantai polimer.^{14,17} Pada umumnya, resin komposit tidak seluruhnya mengalami polimerisasi melainkan hanya 43-75% yang mencapai mencapai DC. Proses polimerisasi dipengaruhi oleh komposisi resin, intensitas iradiansi sinar, waktu penyinaran serta jarak sinar.^{7,17}

Penggunaan ATR-FTIR dapat mendeteksi secara langsung adanya struktur C=C pada resin komposit yang tidak mengalami polimerisasi dengan cara membandingkan intensitas (area) rantai alifatik dengan intensitas rantai aromatik. Intensitas rantai aromatik terdapat pada bilangan gelombang 1.582 cm^{-1} , 1.608 cm^{-1}



Gambar. 4. Derajat konversi pada ATR-FTIR (*Degree of conversion*)¹³

$1, 1.715 \text{ cm}^{-1}$ dan intensitas rantai alifatik pada bilangan gelombang 1.637 cm^{-1} , 1.683 cm^{-1} , seperti terlihat pada Gambar 4.^{7,17} dan titik puncak pola serapan rantai aromatik dan alifatik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rentang Bilangan Gelombang pada Derajat Konversi¹⁷

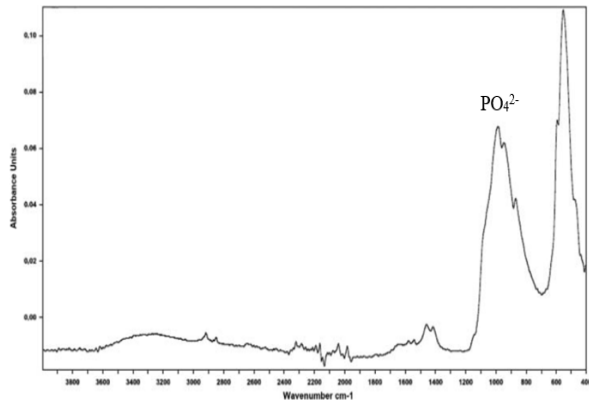
Gugus Fungsi	Puncak Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
C=C Alfatik	1.637
C=C Aromatik	1.608; 1.582
C=O Karboksil	1.715

Mengevaluasi komposisi email, dentin dan tulang

Matriks mineral pada jaringan keras gigi sebagian besar terdiri dari ion fosfat dan ion karbonat yang membentuk kristal hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.³ Hampir seluruh jaringan email terdiri dari 96% mineral anorganik dan sisanya 3 % mineral organik serta air 1 %. Sebagian besar dari mineral anorganik email membentuk struktur hidroksiapatit, dan secara histologis email memiliki struktur prisma yang berbentuk seperti silinder^{9,10}.

Pada pemeriksaan email dengan menggunakan ATR-FTIR dapat diketahui kelainan patologis yang terjadi seperti erosi pada email yang diakibatkan oleh makanan dan minuman asam yang mengakibatkan demineralisasi pada email, kelainan *amelogenesis imperfecta (hypomaturation)*. Kelainan ini ditandai dengan adanya pewarnaan pada email dan tekstur email yang lunak sehingga rentan terhadap karies serta adanya hipomineralisasi yang terjadi pada gigi molar dan insisif ditandai dengan gigi sensitif karena kekurangan mineral. Ketika terjadinya kondisi patologis pada email maka akan terjadi perbedaan rentang bilangan gelombang yang terlihat dari gambar yang dihasilkan oleh alat ATR-FTIR^{18,19}. Salah satu contohnya adalah bila terjadi perubahan kekerasan pada email maka akan terjadi perubahan pada gugus fungsi salah satu mineral email yaitu gugus fungsi PO_4^{2-} yang terdapat pada rentang bilangan

gelombang (1200 cm^{-1} - 1800 cm^{-1} dan 770 cm^{-1} - 1200 cm^{-1}) sehingga akan terjadi perubahan gambaran pola serapan email.¹⁸ Pada **Gambar 5** terlihat pola serapan ATR-FTIR standar pada email manusia serta gugus fungsi senyawa mineral dan protein yang terdapat pada email manusia ditampilkan pada **Tabel 3**.

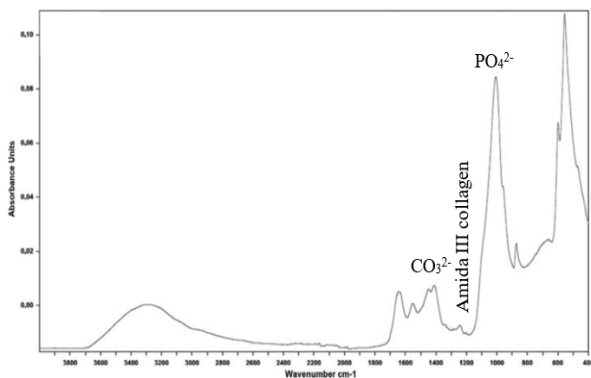


Gambar 5. Pola serapan ATR-FTIR pada email manusia.¹⁸

Apakah bisa ditambahkan gambar ATR-FTIR pada email dgn erosi atau perubahan kekerasan ?

3.2 Dentin

Dentin merupakan jaringan terbanyak pada gigi bila dibandingkan dengan jaringan email. Dentin terdiri dari 70% mineral, 20% matriks organik dan 10% air. Kolagen tipe 1 merupakan komponen terbesar penyusun jaringan dentin. Secara histologis dentin tersusun dari tubulus dentin, peritubulur dentin serta intertubular dentin¹⁸.



Gambar 6. Pola serapan ATR-FTIR pada Dentin Manusia¹⁸

Tabel 4. Rentang Bilangan Gelombang yang Terdapat pada Dentin Manusia¹⁸

Gugus Fungsi	Puncak Bilangan Gelombang (cm^{-1})
$\text{PO}_4^{3-} \nu_2$	470
$\text{PO}_4^{3-} \nu_4$	568; 603
$\text{PO}_4^{3-} \nu_1$	958; 960; 961
$\text{PO}_4^{3-} \nu_3$	1005; 1013; 1025 1035; 1040 1042; 1100 1000-1100
$\text{CO}_3^{2-} \nu_2$	870 ; 872; 875 820-920
$\text{CO}_3^{2-} \nu_3$ overlapped + kollagen	1410 1411-1451 1410-1560 1425-1450 1540-1453 1450-1640
Amide III	1230
N-H deformation	1232
C-N stretching	1235; 1240; 1046
Scissoring CH2	1450 1460
Carbonate CAmide II:	1540; 1542
N-H bending	1544
C-N stretching	1550
CNH	1551 1500-1600
H2O + Amide I	1600-1700
C =O stretching	1630; 1633; 1643; 1645 1650; 1653; 1655 1660; 673
H2O ν_2 overlap +kolagen	1660 (69)
Structural OH	634 dan 2400-3600
Adsorbed H2O (ν_2)	1643
H2O ν_1, ν_2, ν_3	3398
Free OH	3596
Hydroxyapatite dan amide N-H stretch	3433
H-bonded OH	3443
Amide A dan amine N-H	3260; 3309
Amide B: COH	2930
CO3	2300-2400
A-type carbonate	897
B-type carbonate	872

Pada pemeriksaan dengan menggunakan alat ATR-FTIR dapat dideteksi adanya perubahan matriks organik maupun jaringan kolagen yang terdegradasi akibat

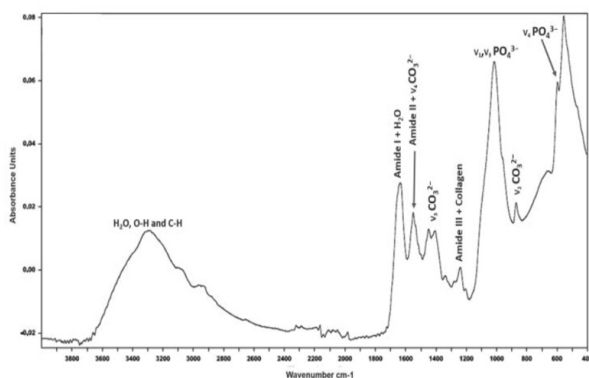
Tabel 3. Rentang bilangan gelombang yang terdapat pada email manusia¹⁸

Gugus Fungsi	Puncak Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
PO ₄ ³⁻ v ₂ <i>Symmetric angular deformation</i>	470
	469
PO ₄ ³⁻ v ₄ <i>Antisymmetric angular deformation</i>	568-602
	450-700
	500-650
	582
	568;603
	520-650
PO ₄ ³⁻ v ₁ <i>Symmetric stretching</i>	604, 564 (600-560)
	958
PO ₄ ³⁻ v ₃ <i>Antisymmetric stretching</i>	960
	1040
	1100 ; 1042
	1040
	1030-1160 (1035)
CO ₃ ²⁻ v ₂ <i>Symmetric angular deformation</i>	1100-1000/ 1220-900
	875
	872
	845-890
	850-890
	850-890
	890-860
	879 tipe A
	873 tipe B
	870-960, 872
C O ₃ ²⁻ v ₃ <i>Antisymmetric stretching</i>	1415, 1460
	1420
	1350-1520
	1405
	1540
	1415, 1450-1550
	1544, 1530
	1560
	3448, 3569
	3565
CO ₃ ²⁻ v ₄ <i>Structural OH Stretching mode</i>	749, 3570
	3793-2652
	3800-3000
	3450-3570
	3570; 3500-2900
	3600-2400
	1202
	1540 A site
	1453 B site
	1540
Amide III Carbonate C Amide II N-H <i>bending</i> C-N <i>stretching vibrations</i>	1540
	1550
	1453
	1544, 1530-1380
	1640-1600
	1450-1425- Carbonate; 1550 - Amide II
	1646
	1642
	1630
	1638
1653	
H ₂ O + Amide I	1575-1730
	1660 (1400-1700)
	1700-1600
	1650
	1673
	1690-1650
	1660

adanya karies serta demineralisasi yang diakibatkan oleh makanan dan minuman asam¹⁷. Degradasi dan demineralisasi yang diakibatkan oleh pemakaian obat-obatan saluran akar serta cairan irigasi juga dapat dideteksi dengan menggunakan alat ATR-FTIR^{10,15,19}. Salah satu contoh untuk mengevaluasi adanya perubahan pada dentin yang diakibatkan oleh obat-obatan saluran akar maka ditentukan adanya degradasi dari kolagen dentin. Ketika mengalami degradasi dentin, maka akan terjadi perubahan gambaran pada standar pola serapan dentin dan perubahan nilai rentang panjang gelombang dari salah satu gugus fungsi senyawa yang terdapat pada dentin. Gugus fungsi senyawa dentin yang sering dikaitkan dengan adanya degradasi dentin adalah amida III, ion fosfat (PO_4^{2-}) dan ion karbonat (CO_3^{2-})^{15,17}. Rentang bilangan gelombang tersebut secara berturut-turut adalah $1286 \text{ cm}^{-1} - 1216 \text{ cm}^{-1}$; $888 \text{ cm}^{-1} - 816 \text{ cm}^{-1}$; $1170 \text{ cm}^{-1} - 780 \text{ cm}^{-1}$ ¹⁸. Pada Gambar 6 terlihat pola serapan ATR-FTIR standar pada dentin manusia serta gugus fungsi senyawa mineral dan protein yang terdapat pada dentin manusia ditampilkan Tabel 3.

Tulang

Tulang merupakan material komposit yang tersusun oleh protein dan mineral. Secara biologis tulang terdiri dari unsur anorganik dan organik. Komposisi tulang secara umum terdiri dari 60% material anorganik, 30% organik dan 10% air¹⁸. Material anorganik merupakan material



Gambar 7. Spektrum ATR-FTIR pada Tulang¹⁸

Tabel 5. Rentang bilangan gelombang yang terdapat pada tulang alveolar manusia¹⁸

Gugus fungsi	Puncak pola serapan (cm^{-1})
$\text{PO}_4^{3-} \nu_2$ <i>Symmetric bending</i>	470
$\text{PO}_4^{3-} \nu_4$ <i>Antisymmetric bending</i>	480-770 565 ; 605 500-660 606; 567
$\text{PO}_4^{3-} \nu_1$	960
$\text{PO}_4^{3-} \nu_3$ <i>Antisymmetric stretching</i>	1035 1028-1100 1100-1180 900-1200
$\text{PO}_4^{3-} \nu_1 + \text{PO}_4^{3-} \nu_3$	916-1180 900-1200 900-1200
$\text{CO}_3^{2-} \nu_2$	900 874 840-892 850-890 850-890 875
$\text{CO}_3^{2-} \nu_3$	1415 1400-1550
Amida III $\text{CO}_3^{2-} + \text{Amide II}$ Pteoin N-H bending + C-N stretching	1210-1280 1550 1492-1590 1546-1506 1585-1720 1592-1712
H2O + Amide I Protein C=O stretch	1650 1590 - 1720 1654 1630-1660
Amide I Pyridinoline collagen crosslinks	1660
Amide I DHLNL collagen crosslinks	1690
OH	573, 632-650, 3400 2100, 3328, 3570

tulang yang mengandung kalsium dalam bentuk apatit yaitu kalsium fosfat dan karbonat^{18,20}. Material organik merupakan material yang tersusun dari protein. Protein tulang terdiri dari kolagen tipe 1 yang terdapat dalam jumlah besar di dalam tulang yaitu sekitar 95 %, material protein lainnya adalah kondroitin sulfat, keratin dan matriks dalam bentuk amorf.¹⁹ Penggunaan ATR-FTIR sangat membantu dalam menentukan

kualitas tulang dan resiko fraktur. Dengan mengukur perbandingan mineral terhadap matriks tulang, perbandingan ion karbonat terhadap ion fosfat, serta mengukur *mineral maturity/crystallinity index* (CI) maka dapat diketahui keadaan tulang secara kualitatif dan kuantitatif.¹⁸ Pada **Gambar 7** terlihat pola serapan ATR-FTIR standar pada tulang alveolar manusia serta gugus fungsi senyawa mineral dan protein yang terdapat pada tulang alveolar manusia ditampilkan pada **Tabel 5**.

KESIMPULAN

Penggunaan alat ATR-FTIR (*Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) menjadi pilihan dalam berbagai penelitian karakterisasi dan pemeriksaan yang digunakan di bidang kedokteran gigi. Pemeriksaan struktur senyawa dengan menggunakan alat ATR-FTIR dapat mengetahui informasi dan mendeteksi kelompok fungsional, tipe ikatan, dan konformasi senyawa. Gambaran informasi struktur senyawa yang dihasilkan oleh alat ATR-FTIR terjadi karena adanya interaksi antara spektrum IR dengan getaran yang berasal dari ikatan kimia antar atom-atom yang menyusunnya. Pola gambaran spektrum yang dihasilkan oleh alat ATR-FTIR dapat memberikan informasi komposisi material yang sangat dibutuhkan di bidang kedokteran gigi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Claudia Maria. Application of FTIR spectroscopy in environmental studies .15 Sept 2017;49-84. doi.org/10.5772/48331.
2. Movasaghi Zanyar, Rehman Shazza, Ur Rehman Ihtesham. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy of Biological Tissues. J Applied Spectroscopy Reviews, 2008,(43):2, 134-179.
3. IH Kim, et al. A Simple, Sensitive and Non-Destructive Technique for Characterizing Bovine Dental Enamel Erosion: Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy. International Journal of Oral Science.2016;8: 54-60.
4. Nomura Shunsuke, Tsuru Kanji, Ishikawa K, et al. Fabrication of carbonate apatite blocks from set gypsum based on dissolution-precipitation reaction in phosphate-carbonate mixed solution. J Dent Mater. 2014;33(2): 1-7.
5. W. Al Sekhaneh. Mapping Of Ancient Teeth Using Absorption Of Atr-Ftir Spectroscopy And Laser Scattering Of Raman Spectroscopy . J. of Optoelectronics and Biomedical Materials. 2016; 4(8): 156-167.
6. Tartari Talita, Bachmann Luciano, G.A.M Amanda, De Andrade F. B, Duarte M.A.H, M. B. Clovis composition by different sodium hypochlorite concentrations. J Appl Oral Sci. 2016;24(3): 291-8.
7. Yokesh Canand, Hemalatha P, Muthaiagu M, Justin M Robert. Comparative Evaluation of the Depth of Cure and Degree of Conversion of Two Bulk Fill Flowable Composites. J. of Clinical and Diagnostic Research. Agustus, 2017;11(8): ZC86-89
8. Insiyanda D.R. , Haryanto. F, Diagnosis Of Caries Teeth On The Enamel Surface Using FTIR-ATR. J Asia- Oceania Congress of Medical Physics, 2013.
9. Vasluianu R, Forna. D.A, Zaltariov. M, Murariu. A. *In vitro* study using ATR-FTIR Methode for Analyze the Effects of the Carbamide Peroxide on the Dental structure. Nama jurnal apa ? 2016;(12);67: 2475-78.
10. S. Ulrica. Almhodj, G. Jorgen. Noren. Arvidsson. A. Nilsson A. Lingstrom Peter. Analysis of Carious Dentin using FTIR and ToF-SIMS. J OHDM. 2014(13);3: 735-44
11. Berzina L, Cimkina, Borodajanko N. Research of calcium phosphat using forier transform infrared spectroscopy. J Science Engineering. 2012; 10(7);124-134
12. Louise M. Barbara, E. Sune Dalgaard, Lefferts Leon. ChemInform Abstract: Light at the Interface: The Potential of Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy for Understanding Heterogeneous Catalysis in Water. J. Chem. Soc. Rev., 2010; 39: 4643-4655

13. Bruyne Sander De, M. Marijn, Speeckaert, Joris R Delanghe. Applications Of Mid-Infrared Spectroscopy In The Clinical Laboratory Setting. *J. Critical Reviews In Clinical Laboratory Sciences*. 2017; 2(10); 1-20.
14. Masood. T.M. Abbassy. M. A, Matar.N.Y, Fourier-transform infrared spectroscopy/ attenuated total reflectance analysis for the degree of conversion and shear bond strength of Transbond XT adhesive system. *J. Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2018;10: 275-80.
15. Tsuru Kanji, Ayami Yoshimoto, Masayuki Kanazawa. Fabrication of carbonate apatite block through dissolution-precipitation reaction using calcium hydrogen phosphate dihydrate block as a precursor. *J Mater*. 2017;374:1-10.
16. Madupalli Honey, et. Al. Carbonate substitution in the mineral component of bone:Discriminating the structural changes, simultaneously imposed by carbonate in A and B sites of apatite. *J. of Solid State Chemi*. 2017: 5(11); 25-37.
17. Palmeira Luciene Goncalves et. al. Infrared spectroscopy: a tool for determination of the degree of conversion in dental composites . *J Appl Oral Sci*. 2008;16(2):145-9
18. Sun Lili, Liang Shanshan, Sa Yue, Wang Zhejun, Ma Xiao, Jiang Tao, Wang Yining. Surface Alteration of Human Tooth Enamel Subjected to Acidic and Neutral 30% Hydrogen peroxide. *J. of Dentistry*. 2011(39); 686-92.
19. Al-Naimi Ali M, Assist.Chakmakch Makdad, Taqa Amer A. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) of Remaining Dentine after Caries Removal with Newly Prepared Experimental Chemomechanical Caries Removal Agent. *Int. J. of Enhanced Research in Medicines & Dental Care*. 2017; (4)7: 6-11.
20. Moraes L. G. P, Rocha R.S.F, Menegazzo L.M. , Araujo Eudes Borges de, Yukimitu Keizo, Moraes J. C. S. Infrared Spectroscopy: A Tool For Determination Of The Degree Of Conversion In Dental Composites. *J Appl Oral Sci*. 2008;16(2):145-9.